昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, January 2011, 54(1): 56 - 63　　ISSN 0454-6296

# 11 种不同类型杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂繁殖的亚致死效应

王德森，潘　飞，何余容*，郭祥令，陈　俏
（华南农业大学昆虫学系，广州 510642）

**摘要**：在实验室条件下通过药膜法研究了 11 种不同类型的杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja 成蜂的毒性，并研究了杀虫剂对其繁殖的亚致死效应，旨在评估各药剂对卷蛾分索赤眼蜂成蜂的安全性，为小菜蛾 *Plutella xylostella* 防治过程中杀虫剂的合理施用提供科学依据。研究结果表明，卷蛾分索赤眼蜂成蜂对阿维菌素最敏感，致死中浓度 $LC_{50}$ 和亚致死浓度 $LC_{30}$ 分别为 0.1984 和 0.1660 mg/L，其次为氟虫腈(0.2027 和 0.1903 mg/L)、溴虫腈(0.3069 和 0.2038 mg/L)、多杀霉素(1.3630 和 1.0481 mg/L)、杀螟丹(8.1042 和 6.7891 mg/L)、高效氯氰菊酯(10.3647 和 5.8035 mg/L)和丁醚脲(11.5318 和 9.9212 mg/L)。经亚致死浓度 $LC_{30}$ 的阿维菌素、溴虫腈、杀螟丹、丁醚脲、多杀霉素和氟虫腈处理后，卷蛾分索赤眼蜂的寿命(1.00 ~ 1.67 d)显著缩短，寄生卵量(0 ~ 21.70 粒/雌)明显降低，种群参数(净生殖力 $R_0$、内禀增长率 $r_m$、周限增长率 $\lambda$ 和世代平均历期 $T$)明显低于对照($P < 0.05$)。田间推荐浓度的茚虫威、氟啶脲、苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis*、虫酰肼对卷蛾分索赤眼蜂寿命及产卵量均没有不利影响，但能通过缩短其世代平均历期 $T$，从而使净生殖力 $R_0$、内禀增长率 $r_m$ 和周限增长率 $\lambda$ 增加。而经亚致死浓度 $LC_{30}$ 的高效氯氰菊酯处理后，卷蛾分索赤眼蜂的寿命(3.77 d)显著延长，寄生卵量(55.47 粒/雌)明显提高，种群参数明显高于对照($P < 0.05$)。结果说明，氟啶脲、茚虫威、苏云金杆菌和虫酰肼对卷蛾分索赤眼蜂较安全；丁醚脲对卷蛾分索赤眼蜂成蜂的寄生能力影响极大，在田间施用时应当尽量避开卷蛾分索赤眼蜂成蜂的盛发期。

**关键词**：卷蛾分索赤眼蜂；杀虫剂；毒性；繁殖；种群参数；亚致死效应
**中图分类号**：Q965.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2011)01-0056-08

# Sublethal effects of eleven insecticides of different categories on reproduction of *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja (Hymenoptera: Trichogrammatidae)

WANG De-Sen, PAN Fei, HE Yu-Rong*, GUO Xiang-Ling, CHEN Qiao (Department of Entomology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract**: The toxicity of eleven insecticides of different categories on adults of *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja and the sublethal effects of insecticides on their reproduction under laboratory conditions were studied, so that the safety of insecticides to adults of *T. bactrae* was evaluated. The results showed that the adults of *T. bactrae* were the most susceptible to avermectins at 8 h after exposure to fresh, dry insecticide films in glass vials, the $LC_{50}$ and sublethal concentration ($LC_{30}$) values were 0.1984 mg/L and 0.1660 mg/L, respectively, and second susceptible to fipronil ($LC_{50}$ and $LC_{30}$ values were 0.2027 mg/L and 0.1903 mg/L, respectively), chlorfenapyr ($LC_{50}$ and $LC_{30}$ values were 0.3069 mg/L and 0.2038 mg/L, respectively), spinosad ($LC_{50}$ and $LC_{30}$ values were 1.3630 mg/L and 1.0481 mg/L, respectively), cartap ($LC_{50}$ and $LC_{30}$ values were 8.1042 mg/L and 6.7891 mg/L, respectively), betacypermethrin ($LC_{50}$ and $LC_{30}$ values were 10.3647 mg/L and 5.8035 mg/L, respectively) and diafenthiuron ($LC_{50}$ and $LC_{30}$ values were 11.5318 mg/L and 9.9212 mg/L, respectively). The $LC_{30}$ values of avermectins, chlorfenapyr, cartap, diafenthiuron, spinosad and fipronil had significant effects on the longevity and fecundity of *T. bactrae*. After treated with these insecticides, the longevity of females (1.00 - 1.67 d) was shortened, and the number of eggs parasitized per female (0 - 21.70) decreased, and therefore the life table parameters ($R_0$, $r_m$, $\lambda$ and $T$) of *T. bactrae* were statistically lower than those in the control. The

基金项目：农业公益性行业专项(200803001)；国家自然科学基金项目(30871677)
作者简介：王德森，男，1983 年生，河南南阳人，硕士研究生，主要从事害虫生物防治研究，E-mail: wds830706@163.com
*通讯作者 Corresponding author, E-mail: yrhe@scau.edu.cn
收稿日期 Received: 2010-06-28；接受日期 Accepted: 2010-10-29

field recommended concentration of indoxacarb, chlorfluazuron, *Bacillus thuringienesis* and tebufenozide had no effect on the longevity and fecundity of *T. bactrae*, but after treated with these insecticides, the $R_0$, $r_m$ and $\lambda$ of *T. bactrae* were higher than those in the control. However, the longevity of females (3.77 d) was significantly extended, and the number of eggs parasitized per female (55.47) was significantly increased after the adults of *T. bactrae* were exposed to betacypermethrin, and therefore the life table parameters of *T. bactrae* were statistically higher than those in the control. The results suggest that chlorfluazuron, indoxacarb, *B. thuringienesis* and tebufenozide are safe to *T. bactrae*, so these insecticides are compatible to these parasitoids when used for control of *Plutella xylostella*. Diafenthiuron, however, is evaluated as harmful to the fecundity of *T. bactrae*, and timing of application of this insecticide is critical.

**Key words**: *Trichogrammatoidea bactrae*; insecticide; toxicity; reproduction; life table parameters; sublethal effect

卷蛾分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja 属赤眼蜂科（Trichogrammatidae），分索赤眼蜂属 *Trichogrammatoidea*，是鳞翅目害虫重要的卵期寄生蜂。近年来，在一些寄生小菜蛾 *Plutella xylostella* 卵的寄生蜂种类的筛选实验中，卷蛾分索赤眼蜂表现出对小菜蛾卵较强的选择性，因此认为该蜂对小菜蛾有较大的控制潜能，是防治小菜蛾的适宜蜂种（Wuhrer and Hassan, 1993；Vasquez *et al.*, 1997；Guo *et al.*, 1999）。

在综合防治过程中，杀虫剂的不合理使用在杀死害虫的同时也可能会杀伤天敌，降低天敌的自然控害作用。如何合理地施用杀虫剂，从而协调化学防治和生物防治间的矛盾，成为防治害虫能否成功的关键。在农业生态系统中，杀虫剂的浓度会慢慢地递减，当递减到一定水平时，就会变为亚致死浓度，因此，害虫天敌除了受到杀虫剂的致死浓度影响外，还会受到亚致死浓度的影响。近年来，关于杀虫剂亚致死浓度的确定，不同学者有不同的看法：顿玉慧和冯明光（2004）将常规用药浓度的1/10视为亚致死浓度，有些研究中将 $LC_{50}$或者小于 $LC_{50}$ 亦看作亚致死浓度（Pedersen *et al.*, 1997；徐学农等，1998；Lee *et al.*, 1998）。

害虫天敌接触到亚致死浓度的杀虫剂后，其生殖力会受到不同程度的影响。朱九生等（2009）研究发现，广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* 的蛹经阿维菌素亚致死浓度（$LC_{35}$）处理后，发育至成蜂，除羽化后的雌蜂产卵量显著减少外，雌蜂寿命、子代羽化率和子代性比与对照并无显著差异；生命表参数显示，阿维菌素亚致死浓度（$LC_{35}$）处理后的广赤眼蜂净生值力 $R_0$ 和世代平均历期 *T* 均明显地低于对照。Vianna 等（2009）测定了 9 种杀虫剂对短管赤眼蜂 *T. pretiosum* 雌蜂的影响，发现阿维菌素和拟除虫菊酯均能够显著降低雌蜂的寄生率，而经高效氰戊菊酯处理后的短管赤眼蜂其子代已丧失寄生能力。Delpuech 和 Meyet（2003）曾报道20%毒死蜱处理甘蓝夜蛾赤眼蜂 *T. brassicae* 后能显著降低存活雌蜂的寄生力。Elzen 等（1999）以叶片残留法用选择性杀虫剂和昆虫生长调节剂处理蝉大眼长蝽 *Geocoris punctipes* 成虫，虫酰肼、甲氧虫酰肼和多杀菌素在推荐用量下对该长蝽雌雄性均未表现出明显毒性，溴虫腈也只引起部分死亡。但虫酰肼和溴虫腈均可明显降低长蝽的繁殖力。

亚致死浓度的杀虫剂不仅能影响天敌本身的生殖力，还有可能影响到子代的生长发育。Mendel 等（1994）研究发现噻嗪酮作用于双带巨角跳小蜂 *Comperiella bifasciata* 幼虫对其后代有显著影响，平均每雌所能正常羽化的后代数显著降低。用灭幼宝处理丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 成虫对每雌所产后代数也有显著影响，用1 mg/L 的药剂处理后，平均每雌所产的后代数下降了42.3%，且后代羽化率也下降了27.6%（Liu and Stansly, 1997）。王小艺等（2003）测定了吡虫啉、鱼藤酮、氰戊菊酯、阿维菌素、抗蚜威和印楝素等 6 种杀虫剂亚致死浓度对异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 成虫繁殖力的影响，发现上述药剂采用接触法和饲喂法处理异色瓢虫后，所产卵的孵化率均低于对照，从卵发育至蛹期的累积存活率均显著降低。天敌昆虫在杀虫剂亚致死浓度的作用下，还能导致子代的性比降低（Krespi *et al.*, 1991；李元喜，2002；Delpuech and Meyet, 2003）。

本试验将通过毒力测定的方法以明确防治小菜蛾常用的 11 种杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂成蜂的毒性，进而研究各杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂繁殖的亚致死效应，从而为小菜蛾综合防治过程中合理使用杀虫剂、协调化学防治和生物防治提供科学依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 供试蜂种及寄主昆虫

供试蜂种：卷蛾分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja，由华南农业大学资源环境学院害虫生物防治实验室提供，在人工气候箱中（温度 25 ±1℃，相对湿度 70%~80%，光周期 14L: 10D）以米蛾 *Corcyra cephalonica*（Stainton）卵为寄主进行繁殖。待成蜂羽化后在繁蜂指形管（大小为 2.5 cm × 7.5 cm）内壁涂上浓度为 25% 的蜂蜜水供其取食。

供试寄主昆虫：米蛾 *C. cephalonica* 由华南农业大学资源环境学院害虫生物防治实验室提供，用含水量 15% 的饲料[1:5（m/m）的玉米粉: 高筋小麦粉]采用木盒（40 cm ×30 cm ×7 cm）直接饲养法（邱式邦等，1980），在空调房内饲养，饲养条件为温度 25 ±1℃，相对湿度 70%~80%，光周期 14L: 10D。所用寄主卵在繁蜂前均用 30 W 的紫外灯照射 30 min，杀死其胚胎（陈科伟等，2002）。

## 1.2 供试药剂

5% 氟啶脲（chlorfluazuron）EC，5% 茚虫威（indoxacarb）EC，苏云金杆菌 *Bacillus thuringienesis*，10% 虫酰肼（tebufenozide）EC，5% 高效氯氰菊酯（betacypermethrin）EC，20% 丁醚脲（diafenthiuron）EC，2% 阿维菌素（avermectins）EC，25 g/L 多杀霉素（spinosad）SC，10% 溴虫腈（chlorfenapyr）EC，5% 氟虫腈（fipronil）EC 和 98% 杀螟丹（cartap）WP 均来自广东省农业科学院植物保护研究所。

## 1.3 杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂成蜂的毒力测定（药膜法）

参照王德森等（2010）报道的药膜法。每种供试药剂均用清水稀释成 6 个浓度，以清水为对照，每个浓度重复 5 次。每处理吸药液 1 mL 于 2.5 cm ×7.5 cm 的指形管中，对照组吸等量清水，然后迅速转动指形管，使药液均匀地涂于管内壁，立即将多余的药液倒出，指形管倒立，在室内自然风干后即成药膜管。每支药膜管接入羽化后 6 h 内的赤眼蜂成蜂 60 头左右，用黑布封口放入人工气候箱中（温度 25 ±1℃，相对湿度 70%~80%，光周期 14L: 10D，下同）。处理 8 h 后统计各管成蜂数和死亡数（成蜂不能爬动记为死亡），计算死亡率。

## 1.4 杀虫剂亚致死浓度对卷蛾分索赤眼蜂繁殖的影响

参照黄寿山等（1996）方法。取接种 30 min 以内的寄生卵作为供试材料。记录接种时间作为 $x$（实验种群生命表组建中雌性个体的年龄）计算的起点，$x$ 以 24 h 为单位。在赤眼蜂羽化当日，以各药剂的亚致死浓度 $LC_{30}$ 为供试浓度制作药膜管，以清水为对照，每个处理重复 5 次，每支药膜管接入羽化后 6 h 内的赤眼蜂成蜂 60 头左右，用黑布封口放入人工气候箱中。处理 8 h 后将存活雌蜂单头引入 2.5 cm ×7.5 cm 的洁净指形管中，在其内壁涂上 25% 的蜂蜜水，重复 30 次。对每头雌蜂分别编号，并接入过量的（200 粒）米蛾卵。24 h 更换 1 次卵卡，并将更换下的卵卡放入相同试验条件下培养。逐日观察并记录每头雌蜂的存活情况、逐日寄生卵数、逐日产雌数（在子代蜂羽化后的实际统计结果）。在本试验中，当药剂防治小菜蛾的田间推荐浓度小于赤眼蜂成蜂的 $LC_{30}$ 时，则以其田间推荐浓度作为亚致死浓度对赤眼蜂成蜂进行处理。

## 1.5 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 办公软件和 DPS 软件（DPS 7.05 版本）进行统计分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂成蜂的亚致死浓度

分别用 11 种供试药剂处理卷蛾分索赤眼蜂成蜂 8 h，各供试药剂对卷蛾分索赤眼蜂成蜂的毒力测定结果见表 1。各药剂的毒性由高到低的顺序依次为：阿维菌素（$LC_{50}$ 为 0.1984 mg/L）、氟虫腈（$LC_{50}$ 为 0.2027 mg/L）、溴虫腈（$LC_{50}$ 为 0.3069 mg/L）、多杀霉素（$LC_{50}$ 为 1.3630 mg/L）、杀螟丹（$LC_{50}$ 为 8.1042 mg/L）、高效氯氰菊酯（$LC_{50}$ 为 10.3647 mg/L）、丁醚脲（$LC_{50}$ 为 11.5318 mg/L），茚虫威、氟啶脲、虫酰肼和苏云金杆菌毒性最低。

各供试药剂对卷蛾分索赤眼蜂成蜂的亚致死浓度分别为：阿维菌素的 $LC_{30}$ 为 0.1660 mg/L，高效氯氰菊酯的 $LC_{30}$ 为 5.8035 mg/L，氟虫腈的 $LC_{30}$ 为 0.1903 mg/L，多杀霉素的 $LC_{30}$ 为 1.0481 mg/L，杀螟丹的 $LC_{30}$ 为 6.7891 mg/L，溴虫腈的 $LC_{30}$ 为 0.2038 mg/L，丁醚脲的 $LC_{30}$ 为 9.9212 mg/L，茚虫威的 $LC_{0.35}$ 为 22.5 mg/L，氟啶脲的 $LC_{0.12}$ 为 30 mg/L，虫酰肼的 $LC_{1.46}$ 为 200 mg/L，苏云金杆菌的 $LC_{0.61}$ 为 750 mg/L（表 1）。

**表 1　不同杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂成蜂的毒力测定结果**

**Table 1　Toxicity of different insecticides on adults of *Trichogrammatoidea bactrae***

| 药剂 Insecticides | 毒力回归方程 Toxicity regression equation | 相关系数 $r$ Correlation coefficient | $LC_{30}$（95%置信区间）$LC_{30}$（95% FL）(mg/L) | $LC_{50}$（95%置信区间）$LC_{50}$（95% FL）(mg/L) |
|---|---|---|---|---|
| 阿维菌素 Avermectins | $Y = 9.7588 + 6.7750X$ | 0.9661 | 0.1660 (0.1503 – 0.1834) | 0.1984 (0.1836 – 0.2144) |
| 氟虫腈 Fipronil | $Y = 18.2518 + 19.1187X$ | 0.9550 | 0.1903 (0.1823 – 0.1987) | 0.2027 (0.1968 – 0.2088) |
| 溴虫腈 Chlorfenapyr | $Y = 6.5142 + 2.9516X$ | 0.9614 | 0.2038 (0.1729 – 0.2403) | 0.3069 (0.2825 – 0.3334) |
| 多杀霉素 Spinosad | $Y = 4.3818 + 4.5966X$ | 0.9346 | 1.0481 (0.869 – 1.2641) | 1.3630 (1.2159 – 1.5279) |
| 杀螟丹 Cartap | $Y = 1.1971 + 6.8197X$ | 0.8903 | 6.7891 (5.3478 – 8.6189) | 8.1042 (6.8533 – 9.5832) |
| 高效氯氰菊酯 Betacypermethrin | $Y = 2.8855 + 2.0821X$ | 0.9601 | 5.8035 (4.0568 – 8.3024) | 10.3647 (8.3236 – 12.9063) |
| 丁醚脲 Diafenthiuron | $Y = 3.5235 + 8.0267X$ | 0.9132 | 9.9212 (9.3381 – 10.5407) | 11.5318 (10.5279 – 12.6314) |
| 茚虫威 Indoxacarb | – | – | 22.5 ($LC_{0.35}$)* | – |
| 氟啶脲 Chlorfluazuron | – | – | 30 ($LC_{0.12}$)* | – |
| 虫酰肼 Tebufenozide | – | – | 200 ($LC_{1.46}$)* | – |
| 苏云金杆菌 *Bacillus thuringienesis* | – | – | 750 ($LC_{0.61}$)* | – |

* 药剂浓度均为田间推荐浓度，其毒力测定见王德森等（2010）The recommended concentrations in fields are used, and the tocixity test refers to Wang *et al*. (2010).

### 2.2　杀虫剂亚致死浓度 $LC_{30}$ 对卷蛾分索赤眼蜂繁殖的影响

**2.2.1**　雌蜂寿命、寄生卵量、子代羽化率和性比变化：杀虫剂亚致死浓度 $LC_{30}$ 处理后，卷蛾分索赤眼蜂的逐日存活率、逐日寄生卵量、逐日累计寄生卵概率及逐日产雌概率结果见图 1。结果表明，高效氯氰菊酯、氟啶脲、茚虫威、苏云金杆菌、虫酰肼、阿维菌素和杀螟丹处理后的第 3 天，卷蛾分索赤眼蜂仍有存活；而其他药剂处理后的卷蛾分索赤眼蜂于第 3 天几乎全部死亡。除丁醚脲外，其他药剂处理后的卷蛾分索赤眼蜂第 1 天即达到寄生高峰，寄生卵量占总卵量的 60% 以上，随时间的延长产卵量迅速降低。除丁醚脲外，其他药剂处理后的卷蛾分索赤眼蜂产雌概率随产卵时间的延长逐渐降低，最后几天产下的均为雄蜂。

杀虫剂亚致死浓度 $LC_{30}$ 处理后卷蛾分索赤眼蜂的雌蜂寿命、寄生卵量、子代羽化率及性比结果见表 2。经杀螟丹、多杀霉素和氟虫腈处理均能显著缩短卷蛾分索赤眼蜂雌蜂寿命（$P < 0.05$），并降低其寄生卵量，但对子代的羽化率和性比基本没有影响；经丁醚脲处理后，卷蛾分索赤眼蜂的雌蜂寿命（1.13 d）明显缩短，且存活雌蜂已丧失寄生能力；阿维菌素能显著缩短卷蛾分索赤眼蜂雌蜂寿命，并降低子代雌蜂百分率，但对雌蜂寄生卵量和子代的羽化率基本没有不利的影响；溴虫腈处理卷蛾分索赤眼蜂后，存活雌蜂的寿命明显缩短，但所产后代的羽化率却显著提高（$P < 0.05$），而雌蜂寄生卵量和子代性比都与对照差异不显著（$P > 0.05$）；高效氯氰菊酯能显著延长卷蛾分索赤眼蜂雌蜂寿命（$P < 0.05$），并提高寄生卵量，但对子代的羽化率和性比没有太大的影响；茚虫威、氟啶脲、苏云金杆菌和虫酰肼对卷蛾分索赤眼蜂均较安全，处理后的赤眼蜂雌蜂寿命、寄生卵量、子代羽化率和性比均与对照差异不显著（$P > 0.05$）。

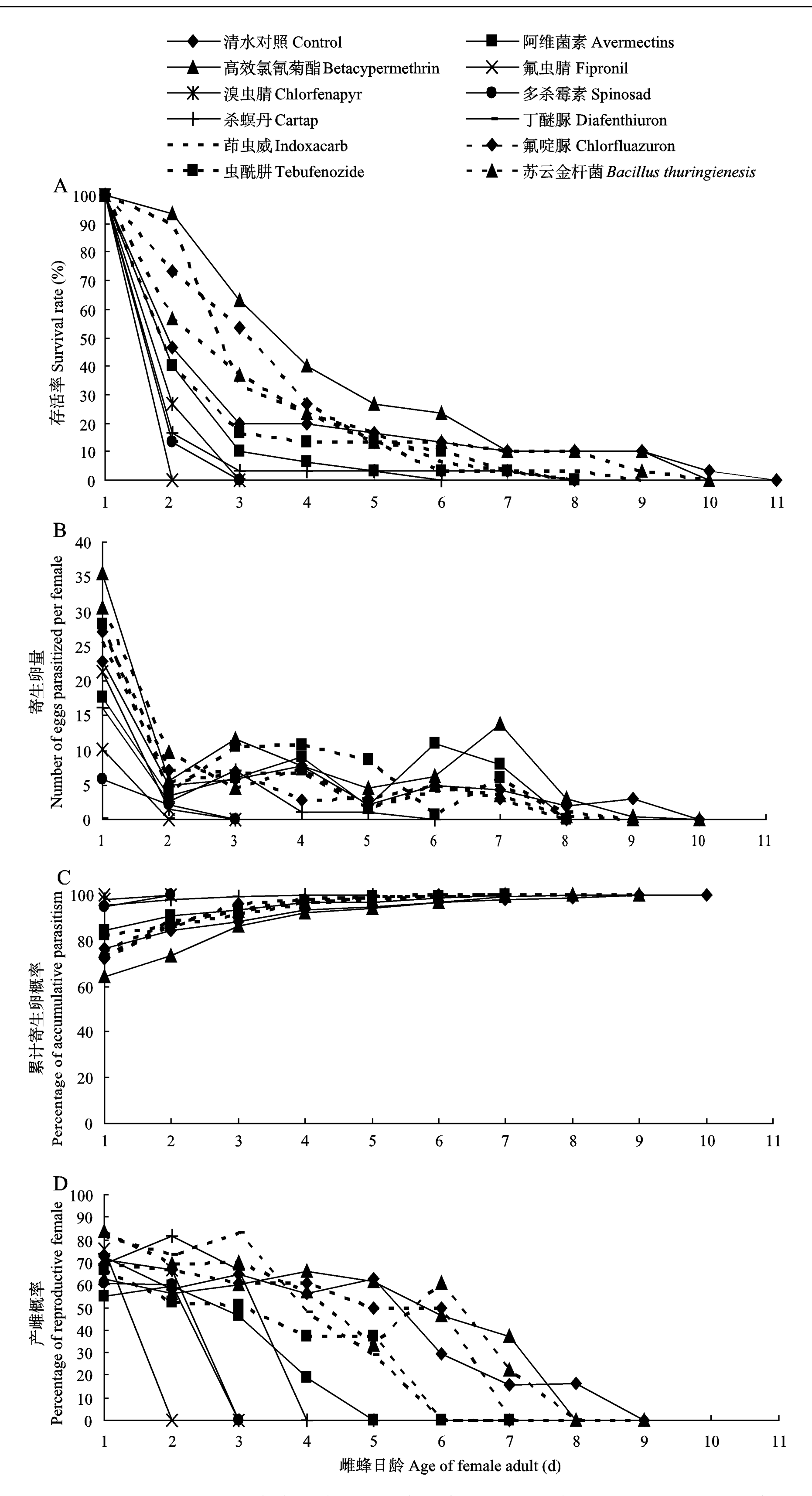



图 1　杀虫剂亚致死浓度处理后卷蛾分索赤眼蜂的逐日存活率(A)、逐日寄生卵量(B)、逐日累计寄生卵概率(C)及逐日产雌概率(D)

Fig. 1　Daily survival rate (A), daily number of eggs parasitized per female (B), daily percentage of accumulative parasitism (C) and daily percentage of reproductive female (D) of *Trichogrammatoidea bactrae* treated by sublethal concentrations ($LC_{30}$) of insecticides

**表 2　杀虫剂亚致死浓度处理后卷蛾分索赤眼蜂的雌蜂寿命、寄生卵量、子代羽化率及性比**

**Table 2　Longevity, the number of parasitized eggs, emergence percentage and sex ratio of *Trichogrammatoidea bactrae* treated by sublethal concentrations of insecticides**

| 药剂 Insecticides | 雌蜂寿命(d) Longevity of female adult | 寄生卵量(粒/雌) Number of eggs parasitized per female adult | 子代羽化率 Emergence percentage in progeny | 子代雌蜂百分率 Female percentage in progeny |
|---|---|---|---|---|
| 清水对照 Water (control) | 2.50 ±0.48 b | 29.67 ±4.52 bc | 84.98 ±3.41 bc | 72.49 ±3.34 ab |
| 高效氯氰菊酯 Betacypermethrin | 3.77 ±0.42 a | 55.47 ±5.87 a | 90.63 ±1.07 ab | 62.29 ±6.65 abc |
| 茚虫威 Indoxacarb | 2.77 ±0.29 b | 35.07 ±3.84 b | 89.00 ±1.46 abc | 76.25 ±3.34 a |
| 氟啶脲 Chlorfluazuron | 2.73 ±0.28 b | 37.37 ±4.43 b | 80.94 ±2.53 c | 64.67 ±4.80 abc |
| 苏云金杆菌 *Bacillus thuringienesis* | 2.67 ±0.42 b | 40.57 ±3.85 b | 83.14 ±1.42 bc | 77.97 ±4.31 a |
| 虫酰肼 Tebufenozide | 1.97 ±0.31 bc | 34.40 ±3.92 b | 81.24 ±1.52 bc | 65.95 ±4.94 abc |
| 阿维菌素 Avermectins | 1.67 ±0.23 cd | 20.90 ±4.19 cde | 84.34 ±4.97 bc | 51.40 ±8.03 c |
| 溴虫腈 Chlorfenapyr | 1.27 ±0.08 cd | 21.70 ±3.07 cd | 95.82 ±1.14 a | 70.94 ±5.42 abc |
| 杀螟丹 Cartap | 1.27 ±0.14 cd | 16.77 ±2.81 def | 89.88 ±2.69 abc | 59.62 ±7.44 abc |
| 丁醚脲 Diafenthiuron | 1.13 ±0.06 cd | 0.00 ±0.00 g | – | – |
| 多杀霉素 Spinosad | 1.13 ±0.06 cd | 6.13 ±2.65 fg | 83.22 ±5.15 bc | 55.55 ±16.63 bc |
| 氟虫腈 Fipronil | 1.00 ±0.00 d | 10.20 ±2.14 efg | 89.94 ±3.63 abc | 75.13 ±3.95 ab |

表中数据为平均值 ± 标准误，同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著(DMRT 法) The data in the table are mean ± *SE*, and those followed by different letters in the same column are significantly different at the 5% level (DMRT). –：供试蜂失去寄生能力，未能进一步试验 No parasitized eggs for further observation. 下同 The same below.

**表 3　杀虫剂亚致死浓度处理后卷蛾分索赤眼蜂的种群参数**

**Table 3　Life table parameters of *Trichogrammatoidea bactrae* treated by sublethal concentrations of insecticides**

| 药剂 Insecticides | 净生殖力 $R_0$ Net reproductive rate | 内禀增长率 $r_m$ Intrinsic rate of natural increase | 周限增长率 $\lambda$ Finite rate of increase | 世代平均历期 $T$(d) Mean generation time |
|---|---|---|---|---|
| 清水对照 Water (control) | 17.57 | 0.2632 | 1.3011 | 10.89 |
| 高效氯氰菊酯 Betacypermethrin | 31.03 | 0.3059 | 1.3578 | 11.23 |
| 茚虫威 Indoxacarb | 25.53 | 0.2994 | 1.3490 | 10.82 |
| 氟啶脲 Chlorfluazuron | 22.70 | 0.2870 | 1.3324 | 10.88 |
| 苏云金杆菌 *Bacillus thuringienesis* | 26.97 | 0.3039 | 1.3551 | 10.84 |
| 虫酰肼 Tebufenozide | 18.57 | 0.2715 | 1.3119 | 10.76 |
| 阿维菌素 Avermectins | 9.77 | 0.2140 | 1.2386 | 10.65 |
| 溴虫腈 Chlorfenapyr | 15.53 | 0.2607 | 1.2978 | 10.52 |
| 杀螟丹 Cartap | 11.27 | 0.2298 | 1.2583 | 10.54 |
| 丁醚脲 Diafenthiuron | 0.00 | – | – | – |
| 多杀霉素 Spinosad | 3.10 | 0.1074 | 1.1134 | 10.53 |
| 氟虫腈 Fipronil | 7.40 | 0.1906 | 1.2100 | 10.50 |

**2.2.2** 卷蛾分索赤眼蜂的种群参数变化：杀虫剂亚致死浓度处理后卷蛾分索赤眼蜂的种群参数结果见表3。经阿维菌素、溴虫腈、杀螟丹、丁醚脲、多杀霉素和氟虫腈处理后，卷蛾分索赤眼蜂的净生殖力$R_0$、内禀增长率$r_m$、周限增长率$\lambda$和世代平均历期$T$均低于对照；经茚虫威、氟啶脲、苏云金杆菌和虫酰肼处理后，卷蛾分索赤眼蜂的净生殖力$R_0$、内禀增长率$r_m$和周限增长率$\lambda$与对照相比均有所提高，但世代平均历期$T$缩短；而高效氯氰菊酯能提高卷蛾分索赤眼蜂的各种群参数。

# 3 讨论

本研究的结果表明：卷蛾分索赤眼蜂成蜂对阿维菌素最敏感，其次为氟虫腈、溴虫腈、多杀霉素、杀螟丹、高效氯氰菊酯和丁醚脲。亚致死浓度($LC_{30}$)的阿维菌素、溴虫腈、杀螟丹、丁醚脲、多杀霉素和氟虫腈均能显著降低卷蛾分索赤眼蜂的繁殖能力；而经高效氯氰菊酯的亚致死浓度($LC_{30}$)处理后，卷蛾分索赤眼蜂的繁殖能力明显增强；田间推荐浓度的茚虫威、氟啶脲、苏云金杆菌、虫酰肼也能明显提高卷蛾分索赤眼蜂的繁殖能力。

亚致死浓度的阿维菌素、溴虫腈、杀螟丹、丁醚脲、多杀霉素和氟虫腈均能显著缩短卷蛾分索赤眼蜂寿命，并降低其寄生卵量和各种群参数(净生殖力$R_0$、内禀增长率$r_m$、周限增长率$\lambda$和世代平均历期$T$)。Consoli等(1998)和Vianna等(2009)都曾报道，阿维菌素能显著降低短管赤眼蜂的寄生力，这与本研究的结果有相似之处。Takada等(2001)研究表明，杀螟丹处理寄主卵对羽化的松毛虫赤眼蜂*T. dendrolimi*寄生力没有影响，这与本实验的结果存在差异。试验方法的不同和这两种蜂对杀螟丹抗性的不同可能是这种差异产生的原因。丁醚脲虽然对卷蛾分索赤眼蜂成蜂只有小于或等于30%的杀伤力，但存活下来的雌蜂出现爬行缓慢，触角无法伸展的现象，且完全丧失了寄生能力，此现象的原因尚不明确，值得进一步研究。

田间推荐浓度的茚虫威、氟啶脲、苏云金杆菌、虫酰肼对卷蛾分索赤眼蜂寿命及寄生卵量均没有不利影响，但处理后的卷蛾分索赤眼蜂世代平均历期$T$缩短，从而使其净生殖力$R_0$、内禀增长率$r_m$和周限增长率$\lambda$增加。Carvalho等(1994)曾报道，氟啶脲对短管赤眼蜂的寿命和寄生力没有消极的影响，与本研究的结果相类似。Takada等(2001)研究表明，苏云金杆菌处理寄主卵对羽化的松毛虫赤眼蜂寄生力没有影响，这与本实验的结果相一致。

沈慧敏和张新虎(2001)曾报道，三氯杀螨醇、辛硫磷和敌杀死在低浓度下对二斑叶螨*Tetranychus urticae*雌成螨的产卵量、卵发育速度、幼螨生命力均有不同程度刺激作用。本研究中也有类似的现象，亚致死浓度的高效氯氰菊酯对卷蛾分索赤眼蜂雌蜂的存活和寄生能力有明显的刺激作用，所处理的赤眼蜂在药膜管中会出现抽搐现象，但转入洁净指形管中一段时间后便恢复正常，同时出现寿命延长、产卵量增加的现象，产生这些现象的原因尚不明确，很值得进一步探讨。

在本研究中，亚致死浓度的阿维菌素能显著降低卷蛾分索赤眼蜂的子代雌蜂百分率，这可能与该药剂的作用机制有关。而朱九生等(2009)研究发现，亚致死浓度的阿维菌素处理广赤眼蜂的蛹对羽化成蜂的子代雌蜂百分率基本没有影响，这与本试验的结果存在差异。除试验方法不同外，两种赤眼蜂对该药剂抗性不同可能也是这种差异产生的原因。

本研究仅在室内测定了各种药剂对卷蛾分索赤眼蜂繁殖的亚致死效应。由于赤眼蜂在田间接触药剂的量及方式与室内不完全一致，寄主不同，环境条件也有差异，因此，从理论上讲还应进行相关的田间试验，以便更准确地评价杀虫剂对赤眼蜂的影响，从而为小菜蛾防治过程中杀虫剂的合理施用提供科学依据。

## 参考文献(References)


Carvalho GA, Tironi P, Rigitano RLO, Salgado LO, 1994. Selectivity of insect growth regulators to *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Anais da Sociedade Entomologica do Brasil*, 23(3): 431-434.

Chen KW, Huang SS, Wu WJ, 2002. The reproduction strategy of *Trichogrammatoidea bactrae* in hosts suspending. *Journal of South China Agricultural University*, 23(1): 35-37. [陈科伟, 黄寿山, 吴伟坚, 2002. 推迟供卵条件下卷蛾分索赤眼蜂的生殖对策. 华南农业大学学报, 23(1): 35-37]

Consoli FL, Parra JRP, Hassan SA, 1998. Side-effects of insecticides used in tomato fields on the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* Riley (Hym., Trichogrammatidae), a natural enemy of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep., Gelechiidae). *J. Appl. Ent.*, 122: 43-47.

Delpuech JM, Meyet J, 2003. Reduction in the sex ratio of the progeny of a parasitoid wasp (*Trichogramma brassicae*) surviving the insecticide chlorpyrifos. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45: 203-208.

Dun YH, Feng MG, 2004. Time-concentration-mortality modeling for responses of *Myzus persicae* to low sublethal sprays of imidacloprid. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(4): 615 – 618. [顿玉慧, 冯明光, 2004. 桃蚜对吡虫啉次亚致死用量反应的时间-剂量-死亡率模拟分析. 应用生态学报, 15(4): 615 – 618]

Elzen GW, Elzen PJ, 1999. Lethal and sublethal effects of selected insecticides on *Geocoris punctipes*. *Southwestern Entomologist*, 24(3): 199 – 205.

Guo MF, Zhu DF, Li LY, 1999. Selection of *Trichogramma* species for controlling the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Entomologia Sinica*, 6(2): 187 – 192.

Huang SS, Dai ZY, Wu DZ, 1996. The establishment and application of the experimental population life tables of *Trichogramma* spp. on different hosts. *Acta Phytophylacica Sinica*, 23(3): 209 – 212. [黄寿山, 戴志一, 吴达璋, 1996. 赤眼蜂实验种群生命表的编制与应用. 植物保护学报, 23(3): 209 – 212]

Krespi L, Rabasse JM, Dedryver CA, Nenon JP, 1991. Effect of three insecticides on the life cycle of *Aphidius uzbekistanicus* Luz. (Hym., Aphidiidae). *Journal of Applied Entomology*, 111(1 – 5): 113 – 119.

Lee CY, Yap HH, Chong NL, 1998. Sublethal effects of deltamethrin and propoxur on longevity and reproduction of German cockroaches, *Blattella germanica*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 89: 137 – 145.

Li YX, Liu SS, Liu YQ, 2002. Lethal and sublethal effects of fenvalerate residue on adults of *Cotesia plutellae*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 29(4): 325 – 330. [李元喜, 刘树生, 刘银泉, 2002. 氰戊菊醋残留对菜蛾绒茧蜂成虫的致死和亚致死效应. 植物保护学报, 29(4): 325 – 330]

Liu TX, Stansly PA, 1997. Effects of pyriproxyfen on three species of *Encarsia* (Hymenoptera: Aphelinidae), endoparasitoids of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 90(2): 404 – 411.

Mendel Z, Blumberg D, Ishaaya I, 1994. Effects of some insect growth regulators on natural enemies of scale insects (Hom.: Coccoidea). *Entomophaga*, 39(2): 199 – 209.

Pedersen A, Dedes J, Gauthier D, Frankenhuyzen KV, 1997. Sublethal effects of *Bacillus thuringiensis* on the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 83: 253 – 262.

Qiu SB, Tian YQ, Zhou WR, Yu JJ, Wang CX, Wang ZG, 1980. Improved technique for mass rearing rice moth. *Acta Phytophylacica Sinica*, 7(8): 153 – 158. [邱式邦, 田毓起, 周伟儒, 于久钧, 王春夏, 王志光, 1980. 改进米蛾饲养技术的研究. 植物保护学报, 7(8): 153 – 158]

Shen HM, Zhang XH, 2001. The effects of three insecticides on the life-force and fecundity of *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 37(4): 96 – 100. [沈慧敏, 张新虎, 2001. 3 种农药对二点叶螨生命力及繁殖力的影响. 兰州大学学报(自然科学版), 37(4): 96 – 100]

Takada Y, Kawamura S, Tanaka T, 2001. Effects of various insecticides on the development of the egg parasitoid *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *J. Econ. Entomol.*, 94(6): 1340 – 1343.

Vasquez LA, Shelton AM, Hoffmann MP, Roush RT, 1997. Laboratory evaluation of commercial trichogrammatid products for potential use against *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Biological Control*, 9: 143 – 148.

Vianna UR, Pratissoli D, Zanuncio JC, Lima ER, Brunner J, Pereira FF, Serrão JE, 2009. Insecticide toxicity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) females and effect on descendant generation. *Ecotoxicology*, 18: 180 – 186.

Wang DS, Lv LH, He YR, Qin SS, Pan F, 2010. Effect of conventional insecticides on *Trichogrammatoidea bactrae*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(2): 379 – 383. [王德森, 吕利华, 何余容, 覃松生, 潘飞, 2010. 常用杀虫剂对小菜蛾天敌卷蛾分索赤眼蜂的影响. 昆虫知识, 47(2): 379 – 383]

Wang XY, Shen ZR, Xu WB, Lu J, 2003. Sublethal effects of insecticides on fecundity of multicolored Asian ladybird *Harmonia axyridis*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(8): 1354 – 1358. [王小艺, 沈佐锐, 徐文兵, 卢健, 2003. 亚致死剂量杀虫剂对异色瓢虫繁殖力的影响. 应用生态学报, 14(8): 1354 – 1358]

Wuhrer BG, Hassan SA, 1993. Selection of effective species/ strains of *Trichogramma* (Hym., Trichogrammatidae) to control the diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lep., Plutellidae). *Journal of Applied Entomology*, 116(1): 80 – 89.

Xu XN, Wang G, Gao SP, 1998. Effects of sublethal concentration of fenpyroximate on reproduction of *Tetranychus viennensis* Zacher. *Journal of Anhui Agricultural University*, 25(4): 352 – 355. [徐学农, 王刚, 高仕朋, 1998. 杀螨王的亚致死浓度处理桃叶对山楂叶螨雌成螨生殖的影响. 安徽农业大学学报, 25(4): 352 – 355]

Zhu JS, Lian ML, Wang J, Qin S, 2009. The toxicity of abamectin on different developmental stages of *Trichogramma evanescens* and effects on its population dynamics. *Acta Ecologica Sinica*, 29(9): 4738 – 4744. [朱九生, 连梅力, 王静, 秦曙, 2009. 阿维菌素对广赤眼蜂(*Trichogramma evanescens*)不同发育阶段的毒性和实验种群动态的影响. 生态学报, 29(9): 4738 – 4744]

(责任编辑: 赵利辉)